

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月8日現在

機関番号：57301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500856

研究課題名（和文） 自然科学教育に必要な気象学に関するモデル実験教材の開発と応用

研究課題名（英文） Development of the Earth-model experiment apparatus
on meteorology required for natural science education

研究代表者

森 保仁（MORI YASUHIRO）

佐世保工業高等専門学校・一般科目・准教授

研究者番号：80243898

研究成果の概要（和文）：地球モデル実験装置を用いた研究から、偏西風波動の波動数について次のような知見を得た。(1) 中緯度温度の増加と共に波動数が減少する。(2) 中緯度域の幅を狭くすると波動数は増加する。(3) 中緯度域の水深（大気の厚み）が増加すると、波動数は減少する。(4) 中緯度域の水深を連続的に変化させると、波動の形や数の変化を伴って、偏西風波動が流動する。(5) 北極振動の張り出しの増加と共に波動数が減少する。(6) 北極振動が生じているときは偏西風波動が流動する。(7) 張り出しの頂上付近では波動が消失し、張り出しを通過後に新たに渦が形成され波動に発達する。

研究成果の概要（英文）：In this research using the Earth-model experiment apparatus, the following experimental results on the number of the meandering waves are obtained. (1) The number tends to decrease with the temperature increasing in the middle latitude region. (2) The number tends to increase with narrowing the middle latitude region. (3) The number tends to decrease with increase of the water depth (the atmospheric thickness) of the middle latitude area. (4) When the water depth of the middle latitude area changed continually, it is seen that the westerly wave flowed with the change of the form and the number of the westerly wave. (5) The number tends to decrease when the North Pole area protruded greatly by the arctic-oscillation. (6) The westerly wave flows when the arctic-oscillation is appeared. (7) The westerly wave disappears in the neighborhood of top of the protruding area, and a new vortex is generated after the passage in the protruding area.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	200,000	60,000	260,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学、科学教育

キーワード：異常気象、地球モデル、実験教材、サーモグラフィー、偏西風波動

1. 研究開始当初の背景

気象現象は、地球規模で生じる様々な現象（地球の自転や地軸の傾き、大気や海流の大

循環、地表や海水の温度変化など）が起因して生じている。そのような地球規模で生じる現象を、実験室内で再現することができるモデル実験教材の開発は、異常気象の原因や環

境問題を子ども達に考えさせる自然科学教育において大きな意味を持つ。また、このようなモデル実験装置にサーモグラフィーが用いられた例がなかったことから、新たな知見が得られるのではないかと考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、様々な環境問題や異常気象の原因を分かりやすく理解できるような気象学に関するモデル実験教材を開発し、高等専門学校における自然科学教育や、小中学校における訪問理科授業での科学実験に使用することである。

当初の計画では、1年目に回転テーブルとサーモグラフィーを用いた「地球モデル実験装置」を構築し、2年目に異常気象の原因の一つと考えられている偏西風波動の大蛇行に関するモデル実験を行い、3年目に台風の進路や酸性雨、オゾンホールなどに関するモデル実験を行う予定であった。

実際には、回転系に固定するという本研究の目的に適したサーモグラフィーを選考するのに時間がかかり、本格的に「地球モデル実験装置」の構築に取りかかったのが2年目からとなった。このため、研究の目的を「偏西風波動の大蛇行に関する新しい知見を得る」ということに絞って、研究を進めた。

本研究を遂行するにあたり、佐世保高専の電気電子工学科に協力を依頼して、本研究の2年目と3年目に、毎年2名ずつ計4名の卒研（高専5年生）を配置していただいた。佐世保高専の一般科目教員が卒研を指導する例はほとんど無いが、この卒研4名のお陰で大きな研究成果を得ることができた。

3. 研究の方法

(1) 地球モデル実験装置

図1に見るように、大きさの異なる3つの円形水槽を重ね、内側から氷水、常温水、温水を注ぎ、北極域、中緯度域、赤道域における大気モデルとする。これを適度な速度で安定して回転する回転テーブルの上に置くことにより、地球の自転を再現する。この装置を用いると、中緯度域が極側で冷やされ、赤道側で加熱されるため、中緯度域に異常気象の原因となる偏西風波動の蛇行や、温帯低気圧に相当する渦を発生させることができる。図2に見るように、これを北極上空で一様に回転するサーモグラフィーを用いて観察し、回転系から見た熱画像と可視画像を記録する。実験中の熱画像、可視画像は外部リモコンにより観察できる。

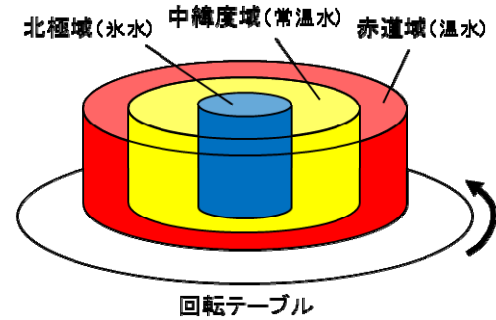


図1 地球モデルの概略図



図2 地球モデル実験装置

(2) 実験方法

基本的に、中緯度域にできる偏西風波動の数（波動数）が、実験条件（中緯度温度、回転数、中緯度域の幅、中緯度域の水深、北極域の水槽の形状など）によってどのように変化するかということ、実験を繰り返すことによって詳しく調べた。

偏西風波動の流速について議論するため、中緯度域に適量のアルミ粉末を浮かべて実験を行った。しかし、実験条件の違いによる流速の違いについて明確な結論を得ることはできなかった。

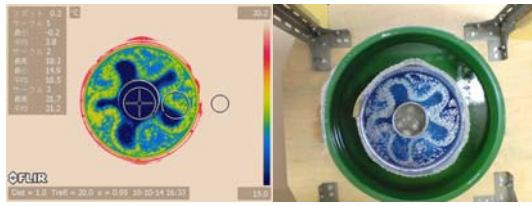
4. 研究成果

(1) 中緯度温度と中緯度の幅による影響

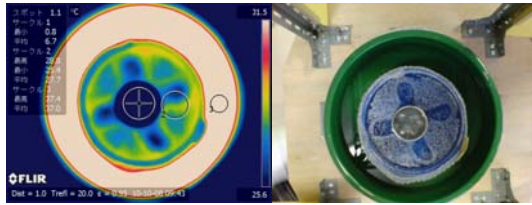
① 中緯度温度と波動数の関係

図3は、回転数を9rpmと一定にして中緯度温度を15°C~35°Cの間で変化させたときの典型的な結果（左：熱画像、右：可視画像）である。同様の実験を多数行った結果、回転数が9rpmで一定のとき、現れる波動数は、中緯度温度が15~20°Cでは4~5つ、20~30°C

では4つ、30~35℃では3つであった。従って、中緯度温度が上昇すると、現れる波動数は減少する傾向にあることがわかった。



(a) 北極(3.8℃)、中(16.5℃)、赤道(21.1℃)



(b) 北極(6.7℃)、中(27.7℃)、赤道(37.0℃)

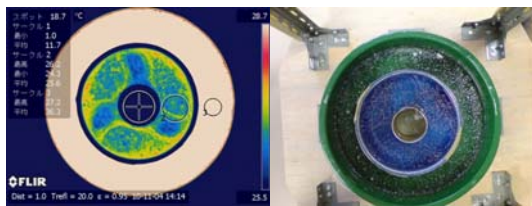
図3 実験結果の一例(中緯度温度)

② 回転数と波動数の関係

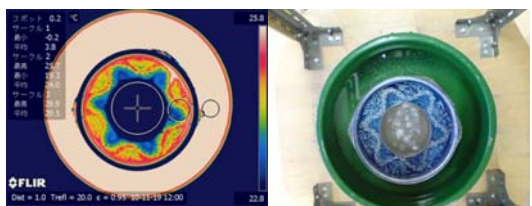
中緯度温度を30~36℃とし、回転数を5~13rpmと変化させた実験を多数行った結果、波動数は、回転数が5rpmで2つ、6~8rpmで3つ、9~13rpmで3~4つであった。従って、回転数が増加すると、現れる波動数は増加する傾向にあることがわかった。

③ 中緯度域の幅と波動数の関係

図4は、中緯度の温度を24~26℃、回転数を11rpmとし、中緯度域の幅を変えて実験を行った典型的な結果(左:熱画像、右:可視画像)である。図4(a)のように中緯度域の幅が約7.8cmと広いときは3つの波動が観察できるが、図4(b)のようにこの幅を約5.5cmと狭くすると波動の数が6つに増えた。この結果から、中緯度域の幅が狭くなると、現れる波動の数は増加することがわかった。



(a) 北極(1.0℃)、中(25.6℃)、赤道(36.3℃)



(b) 北極(3.8℃)、中(24.0℃)、赤道(29.5℃)

図4 実験結果の一例(中緯度の幅)

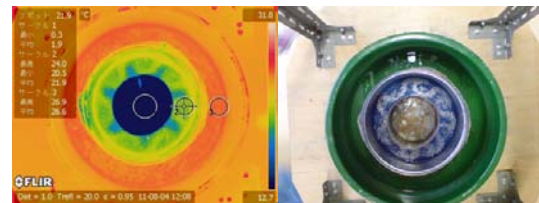
④ まとめ

以上の結果から、地球温暖化によって中緯度域の温度が上昇すると偏西風波動の数が減少し、異常気象により極の寒気や赤道域の暖気が張り出してくると、偏西風波動の数が増加すると考えられる。従って、本研究の結果から、異常気象と偏西風波動の流れ(蛇行)が密接に関係していることがわかった。

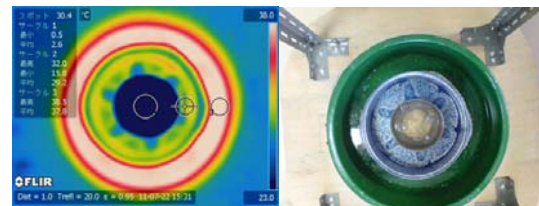
(2) 大気の厚み(水深)による影響

① 中緯度の水深の段階的な変化

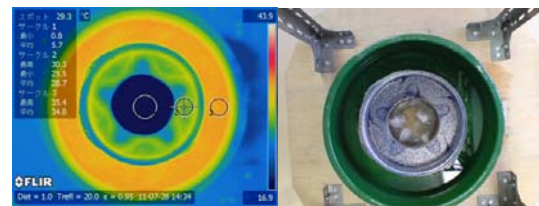
図5は、回転数9rpmで、中緯度域の水深を(a)2.5cm、(b)5.0cm、(c)7.5cm、(d)10cmと段階的に変化させたときの典型的な実験結果(左:熱画像、右:可視画像)である。それぞれの水深で温度差を変化させて繰り返し実験を行った。水深が増加するとともに中緯度域に生じる波動数が減少していることがわかった。



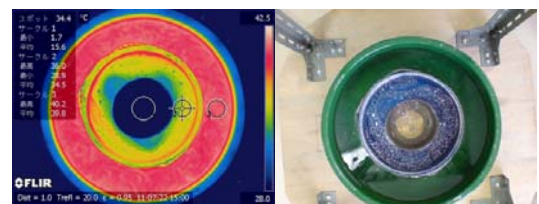
(a) 水深2.5cm(波動数7~8個)



(b) 水深5.0cm(波動数5~6個)



(c) 水深7.5cm(波動数4~5個)



(d) 水深10cm(波動数3~4個)

図5 実験結果の一例(段階的な水深変化)

② 中緯度の水深の連続的な変化

中緯度の水深を連続的に変化させたときの実験を行うため、中緯度域の底にドーナツ形の金網を斜めに設置した。水深の傾斜角度

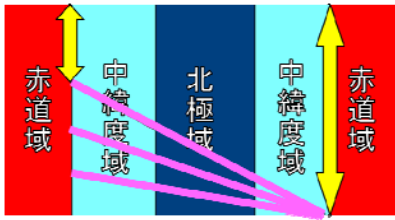


図6 金網の設置位置

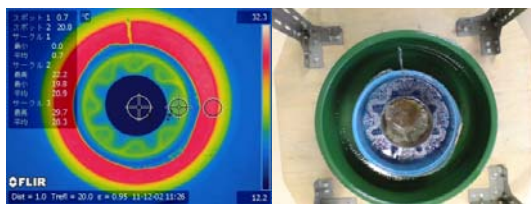
を変えた実験を行うため、図6に描いたように、形状の異なる金網を3種類製作した。

温度の設定は、中緯度域と赤道域に8℃～12℃前後の温度差、赤道域と北極域に28℃～35℃前後の温度差とした。また回転数は9～10 rpm とした。

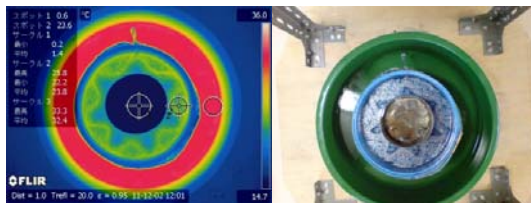
図7は、中緯度の水深を、(a) 最小2.5 cm・最大5 cm、(b) 最小2.5 cm・最大7.5 cm、(c) 最小水深2.5 cm・最大10 cm、と連続的に変化させたときの典型的な実験結果(左:熱画像、右:可視画像)である。

中緯度域の大気傾斜を急にし、最大水深を増加させると波動数が減少する傾向にあることがわかった。しかし、中緯度域の水深を連続的に変化させているため波動の変化が多く生じ、水深を段階的に変化させた結果ほど顕著ではなかった。

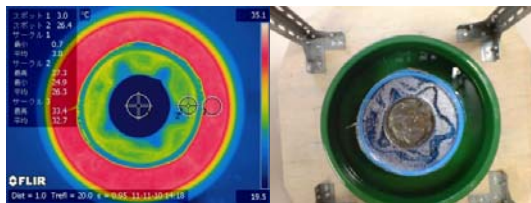
波動の形に関しては、図7に見るように、波長の間隔や大きさが同じようにならない傾向にあり、波動には流動性があることが確認された。水深が浅い部分では波動数が多く、深い部分では波動数が少ないという予想だ



(a) 水深2.5cm～5.0cm (波動数6～9個)



(b) 水深2.5cm～7.5cm (波動数5～8個)



(c) 水深2.5cm～10cm (波動数3～6個)

図7 実験結果の一例(連続的な水深変化)

ったが、流動性により浅い部分においても深い部分においてもそれぞれの特徴を持った波動が現れた。

③ まとめ

大気の厚みが厚くなる(つまり水深が深くなる)と、立体的対流により偏西風波動の波動数は減少する傾向にあるが、連続的に厚みが増える状況では、その傾向が顕著には現れなかった。一方、中緯度域と赤道域の温度差や赤道域と北極域の温度差が上昇すると、波動数は減少する傾向にあることがわかった。従って、ラニーニャ現象や地球温暖化が偏西風の大蛇行を引き起こし、異常気象に影響を及ぼしていることを理解できた。

(3) 北極振動による影響

① 北極振動とは

平成21年の冬、北半球の各地を大寒波が襲い、国内でも日本海側が大雪に見舞われた。この異常気象の原因は、北極圏の寒気が中緯度地域に流れ込む「北極振動」と呼ばれる現象であると言われている。本研究では、北極振動によって偏西風の蛇行がどのように影響を受けるかということについても調べた。

② 実験方法

北極振動に関する実験は、図8に示すように、北極域の一部が中緯度域に張り出した形状の水槽容器を自作して行った。

中緯度域の水深を5.0cmに設定し、回転速



(a) 張り出しなし

(b) 油缶



(c) 張り出し小1個

(d) 張り出し小2個



(e) 張り出し大1個

(f) 張り出し大2個

図8 北極振動用の北極域の水槽容器

度は 9~10rpm 一定とした。水の温度は北極域 3°C前後、中緯度域 25°C前後、赤道域 33°C前後とした。波動が出来始める 5 分以降から、約 2 分刻みで 20 分ほど熱画像および可視画像を記録した。同じ北極域の張り出しの形状での実験を 4 回ずつ行った。

③ 実験結果

図 9 に典型的な実験結果 (熱画像) を示す。各実験において左側よりも右側の方が時間が経過したときの結果である。

図 9 (a) は、張り出しのない容器 (図 8 (a))、つまり北極振動が起きていない時の結果の典型例である。波動数は 5~7 個で、波動に流動性はなく、ほぼ等間隔に同じ大きさの波動が現れた。

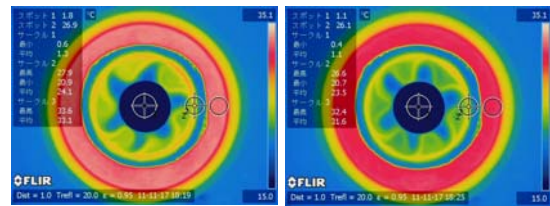
図 9 (b) は、油缶 (図 8 (b)) を用いた結果 (3 回目) の典型例である。波動数 (5~7 個) や波動の大きさは張り出しがない時の結果とほぼ同じであったが、波動に流動性が見られた。また、中緯度域の幅が狭くなった影響で対流の循環自体が小さくなり、波動が短くなっていることがわかる。

図 9 (c) は、張り出し小 1 個の容器 (図 8 (c)) を用いた結果の典型例である。波動数は 5~6 個と減っており、波動に流動性が見られた。張り出しの頂上付近で張り出しと衝突することで波動が消失し、張り出しを通過後、新たに小さな渦が形成され、波動に発達する傾向にあった。波動の内側は低気圧に相当するので、北極振動発生時には張り出しの直後で渦が発生し、低気圧に発達したのち送り出され、また流動していくことが動画からも読み取れた。張り出しを通過後の波動はやや大きく、流動していくうちに元に近い形状へと変化していった。

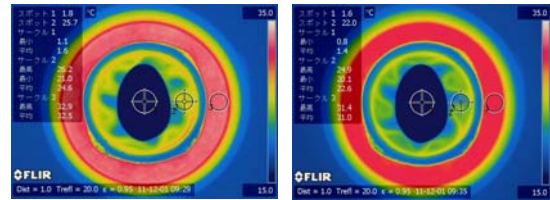
図 9 (d) は、張り出し小 2 個の容器 (図 8 (d)) を用いた結果の典型例である。波動数は 3~6 個とさらに減り、波動は流動していた。張り出しが増えたために新たに渦が形成される頻度が高くなり、渦の形成直後に波動自体が大きく崩れていた。よって、波動数が時間と共に大きく変化した。

図 9 (e) は、張り出し大 1 個の容器 (図 8 (e)) を用いた結果の典型例である。波動数は 4~6 個であり、波動は流動していた。張り出し小の結果とよりも張り出しを通過後にできる渦が大きく、通過後に渦が大きな低気圧に発達することがわかった。

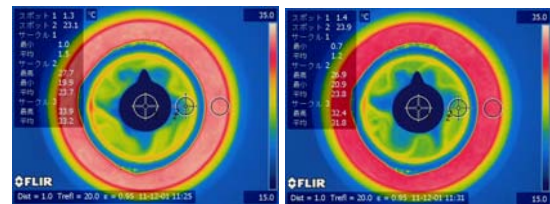
図 9 (f) は、張り出し大 2 個の容器 (図 8 (f)) を用いた結果の典型例である。波動数は 3~6 個と減っており、波動は流動していた。張り出し小 2 個の場合と同様、新たな渦の形成頻度が高く、渦の形成直後に波動が大きく崩れていた。また、張り出し大 1 個の場合と同様に、張り出しを通過後にできる渦が大きく、大きな低気圧への発達も見られた。



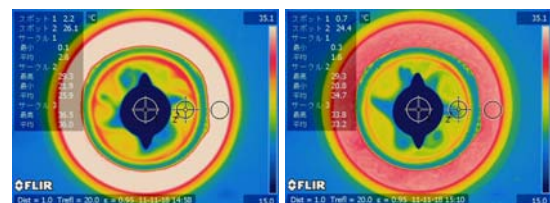
(a) 張り出しなし (11 分後、17 分後)



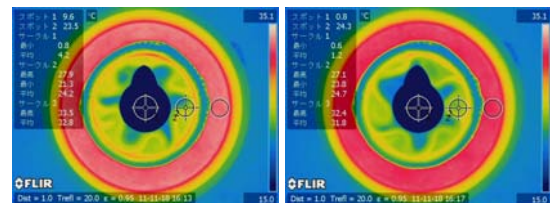
(b) 油缶 (13 分後、19 分後)



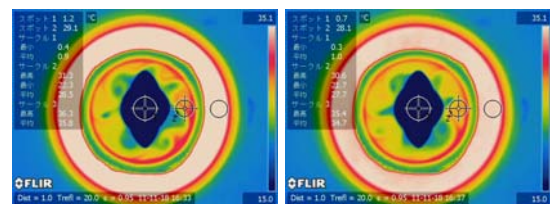
(c) 張り出し小 1 個 (9 分後、15 分後)



(d) 張り出し小 2 個 (7 分後、19 分後)



(e) 張り出し大 1 個 (15 分後、19 分後)



(f) 張り出し大 2 個 (7 分後、11 分後)

図 9 実験結果の一例 (北極振動)

④ まとめ

北極振動の発生時には、通常時には見られない偏西風波動の流動が見られた。つまり、偏西風波動によってブロックされている低気圧は長時間その場に停滞せず、北半球上を流動する。更に北極振動の張り出しが多いほど波動数は減り、張り出しが大きいほど張り

出し通過後に新たな渦が形成され、大きな低気圧に発達する傾向が見られた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

- ①山下涼也、地球モデル実験装置を用いた偏西風の蛇行に関する研究—大気の厚みによる影響—、平成23年度佐世保高専電気電子工学科卒業論文、査読無し、2012年、(指導教員：森 保仁、川崎仁晴)
- ②中島彩希、地球モデル実験装置を用いた偏西風の蛇行に関する研究—北極振動による影響—、平成23年度佐世保高専電気電子工学科卒業論文、査読無し、2012年、(指導教員：森 保仁、川崎仁晴)
- ③繁浦彰平、田口康太郎、異常気象を引き起こす大気の流れを可視化するモデル実験装置の開発、平成22年度佐世保高専電気電子工学科卒業論文、査読無し、2011年、(指導教員：森 保仁、川崎仁晴)

〔学会発表〕(計3件)

- ①山下涼也、中島彩希、原 久之、森 保仁、地球モデル実験装置を用いた偏西風の蛇行に関する研究(1)—大気の厚みによる影響—、平成23年度 応用物理学会九州支部学術講演会、2011年11月26日、鹿児島大学(鹿児島県)
- ②中島彩希、山下涼也、原 久之、森 保仁、地球モデル実験装置を用いた偏西風の蛇行に関する研究(2)—北極振動による影響—、平成23年度 応用物理学会九州支部学術講演会、2011年11月26日、鹿児島大学(鹿児島県)
- ③田口康太郎、繁浦彰平、原 久之、森 保仁、異常気象を引き起こす大気の流れを可視化するモデル実験装置の開発、平成22年度 応用物理学会九州支部学術講演会、2010年11月27日、九州大学(福岡県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 保仁 (MORI YASUHIITO)
佐世保工業高等専門学校・一般科目・准教授
研究者番号：80243898

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし